

## تاثیر پارامترهای غلظت، pH، دما و فشار بر حذف آرسنیک از آب آشامیدنی با استفاده از فرآیند اسمز معکوس

سید احمد مختاری<sup>1</sup>، دکتر میترا غلامی<sup>2</sup>، دکتر محمد شاکر خطیبی<sup>3</sup>، سید حامد میر حسینی<sup>4</sup>

<sup>1</sup> مربی بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران

<sup>2</sup> نویسنده مسئول: دانشیار بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

E-mail: GolamiM@iums.ac.ir

<sup>3</sup> استادیار بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران <sup>4</sup> مربی بهداشت محیط، گروه

بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** آرسنیک سومین عنصر گروه پنجم جدول تناوبی است و یکی از عناصر کمیاب در پوسته زمین است که از لحاظ فراوانی در رده بیستم قرار دارد. این ماده در کشاورزی، دامداری، پزشکی، الکترونیک، صنعت و متالورژی کاربرد دارد و از راههای طبیعی و فعالیت انسان وارد محیط زیست شده و سبب آلودگی آن می‌گردد. آب یکی از منابع انتقال آرسنیک در محیط زیست می‌باشد. مطالعات مختلف ارتباط معنی‌دار بین غلظت بالای آرسنیک در آب آشامیدنی و سرطانهای کبد، سوراخ بینی، ریه، پوست، مثانه و کلیه در مردان و زنان، پروستات و کبد در مردان را مشخص نموده است. هدف از انجام این تحقیق تعیین تاثیر پارامترهای موثر بر عملکرد غشاء اسمز معکوس در حذف آرسنیک از آب می‌باشد.

**روش کار:** در این تحقیق حذف آرسنیک با استفاده از غشاء اسمز معکوس با مدول مارپیچی (مدل 2521 TE ساخت شرکت CSM کره) مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. محلول مورد استفاده به صورت سنتتیک در آزمایشگاه و با استفاده از آرسنات سدیم تهیه گردید و عملکرد سیستم تحت تاثیر پارامترهای غلظت آرسنیک، فشار، pH و دمای محلول ورودی مورد بررسی قرار گرفت. در هر حالت میزان جریان عبوری به ازای واحد سطح غشاء و سرعت عرضی نیز اندازه گرفته شد. برای هر حالت پس از 30 دقیقه نمونه‌های مورد نظر برداشت و به روش نقره دی‌اتیل‌دی‌تیوکاربامات (آزمایش شماره As-3500 B استاندارد متد) تحت آزمایش قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از آزمایشات و اندازه‌گیریها نشان داد پارامترهای غلظت، pH، دمای محلول ورودی و فشار در عملکرد غشاء اسمز معکوس مدل 2521 TE تاثیر داشته و افزایش و یا کاهش هر کدام منجر به تغییر در راندمان و عملکرد آن می‌گردد. شرایط مطلوب و بهینه عملکرد غشاء تحت تاثیر پارامترهای فوق به صورت زیر تعیین گردید: فشار در محدوده 190-210 پوند بر اینچ مربع، غلظت در محدوده 0/2-0/5 mg/L، دما در محدوده 25 - 30 °C و pH در محدوده 6-8. راندمان حذف آرسنیک در شرایط بهینه عملکرد سیستم در حدود 95 - 99 درصد اندازه گرفته شد.

**نتیجه گیری:** با توجه به نتایج حاصل و راندمان قابل قبول و بالای عملکرد، می‌توان این روش را به عنوان روشی موثر در حذف آرسنیک در مناطق دارای آب آلوده به آرسنیک به کار برد.

**کلمات کلیدی:** آرسنیک؛ آب آشامیدنی؛ فرآیند اسمز معکوس

پذیرش: 89/7/6

دریافت: 88/5/10

### مقدمه

می‌باشد. آرسنیک با ظرفیت‌های مختلف و نیز به

اشکال مختلف معدنی و آلی یافت می‌شود. آرسنیک

یکی از مواد شیمیایی است که بطور طبیعی در محیط

آرسنیک سومین عنصر گروه پنجم جدول تناوبی

است، عدد اتمی آن 33 و جرم اتمی آن 74/92

زیست وجود دارد، میزان متوسط آرسنیک در پوسته زمین  $1/8 \text{ mg/kg}$  می‌باشد و معمولاً به صورت ترکیب با گوگرد و یا بسیاری از فلزات نظیر مس، کبالت، سرب، روی و غیره یافت می‌شود [1]. آرسنیک در کشاورزی، دامداری، پزشکی، الکترونیک، صنعت و متالورژی کاربرد داشته و بسیاری از ترکیبات آن در آب محلول هستند، بنابراین آلودگی آب با این ترکیبات به سادگی ممکن می‌باشد و از طریق حل شدن از کانیها و مواد معدنی، تخلیه پسابهای صنعتی و انباشت اتمسفری وارد منابع آب می‌گردد. سهم عمده آرسنیک در آبهای طبیعی از تخلیه پسابها و مواد زاید آرسنیک‌دار می‌باشد و هیچ گواهی بر این که آرسنیک یک عنصر ضروری در فعل و انفعالات زیستی در انسان باشد، در دست نیست، اگرچه برخی از ترکیبات آلی آرسنیک‌دار در حیوانات به عنوان یک ماده محرک رشد شناخته شده‌اند [2]. شکل شیمیایی آرسنیک بستگی به منبع آن دارد؛ ترکیبات معدنی آرسنیک از کانیها، فاضلاب صنایع مختلف و آفت‌کشها و آرسنیک آلی از فاضلابهای صنعتی، حشره کشها و فعالیتهای بیولوژیکی بر روی آرسنیک غیر آلی، وارد آب می‌شود. سمیت ترکیبات آرسنیک بستگی به فرم فیزیکی و ترکیب شیمیایی آن، راه ورود آن به بدن، میزان و مدت تماس و مقادیر عناصر موثر در واکنشهای ایجاد سمیت با آرسنیک در رژیم غذایی، سن و جنس متفاوت است. آرسنیک یک ماده سمی، تجمعی و بازدارنده آنزیم‌های گروه سولفیدریل است، ترکیبات معدنی آن بسیار سمی‌تر از ترکیبات آلی است و آرسنیت در اکثر اوقات سمی‌تر از آرسنات می‌باشد [۲،۱]. آرسنیک در غلظتهای مختلف در آبهای آشامیدنی برخی از کشورها اندازه گیری شده است و در آبهای طبیعی مقدار آن در حد  $2 \text{ mg/L}$  -  $1 \text{ mg/L}$  و بعضاً تا  $5 \text{ mg/L}$  نیز در برخی از نمونه های نزدیک مناطق آلوده گزارش شده است [1].

مطالعات مختلف ارتباط معنی‌دار بین غلظت بالای آرسنیک در آب آشامیدنی و سرطانهای کبد، سوراخ بینی، ریه، پوست، مثانه و کلیه در مردان و زنان و پروستات و کبد در مردان را مشخص نموده است [3].

بر اساس تقسیم بندی IARC<sup>1</sup> ترکیبات غیر آلی آرسنیک در گروه 1 (سرطانزا برای انسان) قرار دارد [1].

سازمان جهانی بهداشت (WHO)<sup>2</sup> مقدار  $0/01 \text{ mg/L}$  را به عنوان مقدار رهنمود نظارتی برای آرسنیک وضع کرده و این در حالی است که حداکثر مجاز تعیین شده در استاندارد ایران  $0/05 \text{ mg/L}$  می‌باشد [4].

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)<sup>3</sup>، توصیه می‌کند جهت دستیابی به میزان بالای حذف آرسنیک از آب آشامیدنی، طی یک مرحله پیش تصفیه قبل از فرآیند اصلی حذف (با استفاده از یک ماده شیمیایی اکسید کننده و یا یک مرحله هوادهی)، آرسنیک سه ظرفیتی (آرسنیت) را به آرسنیک پنج ظرفیتی (آرسنات) تبدیل و سپس نسبت به حذف آرسنات اقدام نمود؛ با توجه به این که آرسنات در محدوده معمول pH به صورت یک آنیون با بار منفی وجود دارد و آرسنیت در محدوده pH آب آشامیدنی به صورت یک مولکول با بار خنثی می‌باشد، با یک اکسیداسیون ساده می‌توان این تبدیل را انجام و به طرز موثرتری اقدام به حذف آرسنیک نمود.

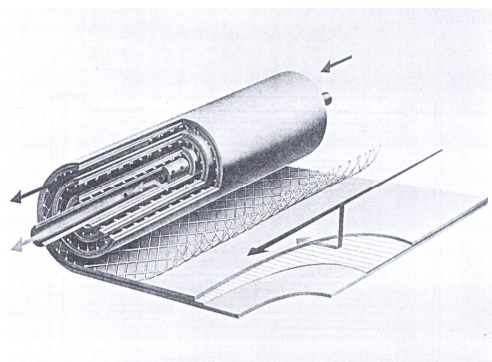
روشهای متعددی در تصفیه آب وجود دارند که قادرند مقادیر آرسنیک را در آب آشامیدنی به حد MCL<sup>4</sup> تعیین شده از طرف ارگانهای مسئول (WHO و EPA) برسانند. از جمله این روشها می‌توان فرایندهای غشایی، انعقاد، آلومینای فعال، تبادل یون، سختی گیری و غیره را نام برد. قبل از انتخاب روش

<sup>1</sup> International Association on Research Cancer

<sup>2</sup> World health organization

<sup>3</sup> Environmental protection agency

<sup>4</sup> Maximum concentration level



شکل 1. شمایی از غشاء RO مورد استفاده و نحوه عبور جریان از آن  
میزان فلاکس عبوری اسمی غشاء 300 گالن در روز  
معادل 1/1 متر مکعب در روز می‌باشد. دیگر اجزاء  
اصلی پیلوت عبارتند از: RO پمپ، الکتروموتور،  
بارومتر، مخزن آب ورودی و تولید و فیلتر کارتریج.  
در شکل 2 دیاگرام جریان در پیلوت نشان داده شده  
است.

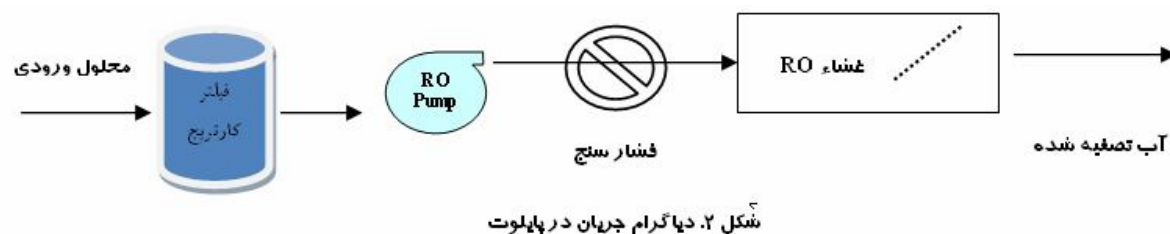
محلول ورودی با استفاده از آرسنات سدیم  
 $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$  در مخزنی از جنس پلی اتیلن  
به حجم 200 لیتر در غلظتهای 0/2، 0/5، 1، 1/5 و 2  
میلی گرم در لیتر آرسنیک و با استفاده از آب  
لوله کشی محلی تهیه شد. سپس در فشارهای مختلف  
عملیاتی از پیلوت عبور داده شد. محلولهای حاوی  
غلظتهای مختلف ضمن عبور از غشاء در فشارهای  
مختلف، در دماها و pHهای مختلف نیز از سیستم  
عبور داده شد. برای هر حالت میزان فلاکس عبوری  
از غشاء محاسبه و نمونه‌های برداشت شده از  
خروجی سیستم به روش نقطه  
دی‌اتیل‌دی‌تیوکاربامات<sup>3</sup> مورد آزمایش قرار

مورد نظر ملاحظات از جمله هزینه های تصفیه،  
راندمان تصفیه، پیچیدگیهای بهره برداری تکنولوژی  
مورد نظر، مهارت و دانش لازم برای بهره برداری از  
آن تکنولوژی و دفع پسماندهای حاصله بایستی مد  
نظر قرار گیرد [5]. از جمله مزایای فرایند اسمز  
معکوس نسبت به سایر روشها می توان راندمان بالای  
حذف، عدم نیاز به مواد شیمیایی و نیاز کمتر به بهره  
بردار متخصص و تمام وقت را نام برد.

فرآیند اسمز معکوس در نقاط مختلف دنیا و کشور  
ما برای زدودن انواع آلاینده ها از آب و پساب  
فاضلاب مورد استفاده و آزمایش قرار گرفته است،  
با توجه به ضرورت حذف آرسنیک از آب آشامیدنی،  
این مطالعه برای اولین بار در ایران با هدف تعیین  
قابلیت استفاده از غشاء اسمز معکوس با شارژ منفی  
جهت حذف آرسنیک از آب آشامیدنی، انجام گرفت.

## روش کار

در این مطالعه تجربی جهت انجام پژوهش از یک  
غشاء ماریچی RO<sup>1</sup> (مدل 2521 TE ساخت شرکت  
CSM کره) استفاده شد. غشاء TFC<sup>2</sup>، از جنس  
پلی آمید با شارژ منفی مورد استفاده قرار گرفت.  
طول غشاء مورد استفاده 21 اینچ، قطر آن 2/5 اینچ  
و قطر لوله تغذیه 0/75 اینچ، با سطح فعال و موثر  
1/1 متر مربع و شکل مدول آن ماریچی می‌باشد  
(شکل 1).

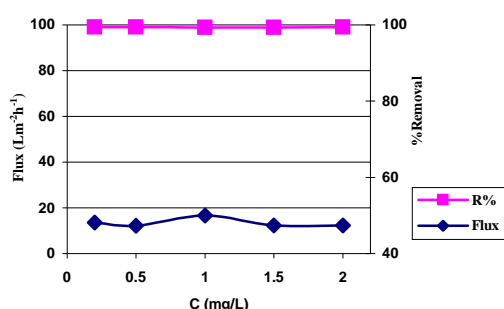


<sup>3</sup> آزمایش شماره As B-3500 استاندارد متد

<sup>1</sup> Reverse osmosis

<sup>2</sup> Thin film composite

فشار عملیاتی برای این مرحله 190 پوند بر اینچ مربع انتخاب و سیستم در دمای  $23^{\circ}\text{C}$  و pH معادل 6/9 راه اندازی شد. با توجه به نمودار 2 ملاحظه می شود که تغییرات غلظت آرسنیک در محلول ورودی تاثیر قابل ملاحظه ای در میزان فلاکس و راندمان حذف آرسنیک ندارد و در محدوده غلظتهای 0/5 – 0/2 میلی گرم در لیتر بهترین عملکرد سیستم را با توجه به استانداردهای موجود خواهیم داشت.



نمودار 2. تغییرات فلاکس عبوری و راندمان حذف آرسنیک از محلول ورودی با تغییر غلظت محلول ورودی توسط غشاء اسمز معکوس TE 2521 ( $\text{pH} = 6/9$ ,  $T = 22^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 190 \text{ psi}$ )

### تعیین pH بهینه حذف آرسنیک

در این مرحله محلولهایی با غلظت 0/2 mg/L تهیه و مقادیر pH آنها با استفاده از سود و اسید کلریدریک در pH های 4، 5/5، 7، 8/5 و 10 تنظیم و تثبیت گردید. سایر پارامترها ثابت نگهداشته شدند. فشار عملکرد در هر حالت 200 پوند بر اینچ مربع به کار برده شد.

با توجه به نمودار 3 ملاحظه می شود که با تغییر pH محلول ورودی تغییر چندانی در میزان فلاکس عبوری ایجاد نمی گردد، لیکن در محدوده pH بین 4 تا 6/5 افزایش نسبی راندمان حذف را داریم و بعد از pH حدود 6/5 میزان حذف ثابت می ماند، و در محدوده 8 – 6 حداکثر راندمان را خواهد داشت.

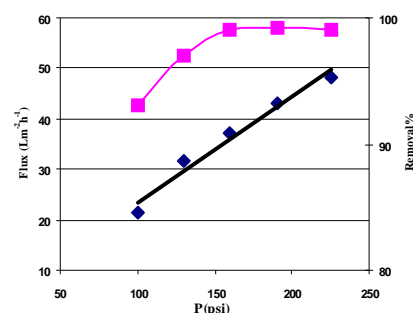
گرفتند [3]. تعداد کل نمونه های مورد آزمایش 60 عدد و برای هر حالت 15 عدد بوده است.

### یافته ها

#### تعیین فشار بهینه حذف آرسنیک

در این مرحله ابتدا محلولی با غلظت 0/2 میلی گرم در لیتر آرسنیک که به صورت سنتتیک در آزمایشگاه تهیه گردیده بود، استفاده شد و با ثابت نگهداشتن سایر پارامترها ( $\text{CAs} = 0/2 \text{ mg/L}$ ,  $T = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH} = 6/9$ ) فشار محلول ورودی به غشاء تغییر داده شد (فشارهای عملکردی 100، 130، 160، 190 و 225 پوند بر اینچ مربع).

با توجه به نمودار 1 ملاحظه می گردد که با افزایش فشار، میزان فلاکس عبوری از غشاء افزایش و در نتیجه میزان حذف آرسنیک نیز افزایش می یابد؛ ماکزیم راندمان حذف در فشار حدود 210 – 190 پوند بر اینچ مربع حاصل شد.



نمودار 1. تغییرات فلاکس عبوری و راندمان حذف آرسنیک از محلول ورودی با تغییر فشار محلول ورودی توسط غشاء اسمز معکوس TE 2521

#### تعیین غلظت بهینه حذف آرسنیک

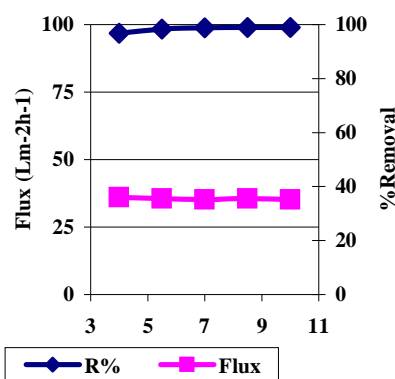
برای تعیین غلظت بهینه حذف آرسنیک محلولهایی با غلظتهای 0/2، 0/5، 1، 1/5 و 2 میلی گرم در لیتر (محدوده رایج آرسنیک در آبهای طبیعی) با استفاده از آب شهر تهیه و برای هر غلظت، پارامترهای فشار، دما و pH محلول ورودی به غشاء ثابت نگهداشته شد.

### بحث

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود با تغییر پارامترهای مختلف راندمان سیستم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. مثلاً با افزایش فشار فلاکس عبوری نیز افزایش خواهد یافت که علت آن غلبه فشار اعمال شده بر فشار اسمزی محلول ورودی می‌باشد. نیز افزایش غلظت ورودی به طور معمول باعث کاهش فلاکس نفوذی در فرایند صاف‌سازی غشاء می‌گردد و در برخی موارد رفتار تغییرات فلاکس با غلظت همانند پیش‌بینی‌های اغلب مدلهای پلاریزاسیون غلظتی بصورت لگاریتمی می‌باشد. یعنی بین فلاکس و لگاریتم غلظت ورودی رابطه خطی مشاهده می‌شود. چنین رابطه‌ای عمدتاً در شرایطی حاصل می‌گردد که سرعت جریان ورودی از روی سطح غشاء نسبتاً کم باشد. در سرعت‌های زیاد افزایش غلظت تأثیر شدیدی بر میزان فلاکس نفوذی ندارد. بطور کلی میزان گرفتگی‌های برگشت‌ناپذیر (از جمله گرفتگی ناشی از جذب پروتئین روی سطح غشاء) مستقل از میزان غلظت محلول ورودی است [6].

لازم به توضیح است که کل جامدات محلول (TDS)<sup>1</sup> آب ورودی هرچه بالاتر باشد، نیروی مولکولی بالایی را خواهد داشت و پیش از آن که مولکولهای آن شروع به جدا شدن از آب بنمایند و از مقطع غشاء عبور نمایند، این نیروهای مولکولی بایستی با استفاده از فشار شکسته شوند. هر 100 mg/L از TDS نیازمند 1 psi فشار برای غلبه بر فشار اسمزی می‌باشد [7].

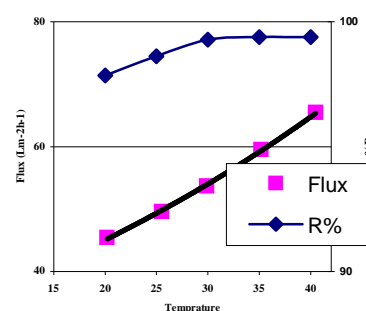
تغییرات pH طبق شکل شماره 3 به صورت بسیار جزئی و مختصر می‌باشد که علت احتمالی آن مربوط به تغییر شکل آنیونهای آرسنیک موجود در محلول و بار آنهاست. در محدوده pH = 4 - 10 یونهای 5 ظرفیتی آرسنات به اشکال  $H_2AsO_4^-$  و  $HAsO_4^{2-}$  می‌باشند. به طوری که تا pH = 6/77 به شکل  $H_2AsO_4^-$  و بعد از آن به صورت



نمودار 3. تغییرات راندمان حذف آرسنیک و فلاکس عبوری از غشاء اسمز معکوس 2521 TE، با تغییر pH (CAs = 0/2 mg/L, P = 200 psi, T = 20°C)

### تعیین دمای بهینه حذف آرسنیک

در این مرحله محلولی با غلظت 0/2 mg/L تهیه و دمای آن با استفاده از هیتر ترموکوپل‌دار و دماسنج در دماهای 20، 25، 30، 35 و 40 درجه سانتی‌گراد تنظیم و تثبیت گردید. سایر پارامترها تغییر نداشتند. pH در محدوده pH آب شهر [7] و فشار عملکرد در هر حالت 225 psi به کار برده شد. با توجه به نمودار شماره 4، با افزایش میزان دمای محلول ورودی، میزان فلاکس عبوری از غشاء افزایش یافته و متعاقب آن راندمان حذف آرسنیک نیز افزایش خواهد یافت؛ به طوریکه در محدوده 25 - 30 °C حداکثر راندمان حذف را ملاحظه خواهیم کرد.



نمودار 4. تغییرات راندمان حذف آرسنیک و فلاکس عبوری از غشاء RO با تغییر دمای محلول عبوری (CAs = 0/2 mg/L, P = 225 psi, pH = 7)

<sup>1</sup> Total dissolved solids

$H_2AsO_4^-$  می‌باشد. از طرفی با توجه به این که غشاء RO مورد استفاده دارای شارژ منفی می‌باشد، لذا طبیعی است که در محدوده pH پایین‌تر از 6/77، نسبت به pH های بالاتر، به مقدار کمتری حذف گردد.

از طرفی میزان بار سطحی غشاء تابع جنس غشاء و نیز pH و قدرت یونی محلول مجاور با غشاء است. بیشترین میزان فلاکس نفوذی و نیز بیشترین میزان قدرت نگهدارندگی غشاء را زمانی می‌توان انتظار داشت که بار الکتریکی سطح غشاء با بار الکتریکی مولکولهای حل شده همنام باشد [6].

دما نیز با توجه به شکل شماره 4 باعث افزایش فلاکس و در نتیجه افزایش راندمان حذف آرسنیک شده است؛ توجه این امر به این صورت است که افزایش دما به طور معمول باعث کاهش ویسکوزیته سیال و افزایش نفوذپذیری می‌گردد و این امر به افزایش فلاکس نفوذی کمک می‌کند [۷،۶].

تحقیقات مشابهی نیز توسط محققان داخلی و خارجی در مورد حذف آرسنیک از آبهای آشامیدنی با استفاده از روشها و تکنولوژیهای مختلف صورت گرفته است.

لین<sup>1</sup> و همکاران تحقیقی با عنوان حذف آرسنیک از آبهای زیرزمینی با استفاده از دو روش اسمز معکوس و تقطیر در نقطه مصرف انجام دادند. جهت انجام تحقیق از سه نوع غشاء اسمز و دو نوع تجهیزات تقطیر استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد هر دو روش در حذف آرسنیک از نمونه های واقعی آبهای زیرزمینی و نیز سنتتیک موثر بوده میزان آرسنیک در نمونه های خروجی در حد استاندارد و تا 99% حذف نیز گزارش شده است. گرچه در مورد هر دو روش با افزایش غلظت راندمان افزایش یافته بود، ارتباطی راندمان و غلظت معنی دار نبوده است [8].

مظفریان و همکاران مطالعه ای را با عنوان ارزیابی عملکرد فرآیند اسمز معکوس در حذف آرسنیک از آب با استفاده از پنج نوع غشاء به نامهای TFC-ULP، TFC-SR، PVD و BW30 انجام دادند. نتایج حاصله نشان داد غشای TFC-SR با توجه به دو پارامتر شار خروجی و درصد حذف آرسنیک آن که بالای 95% بود، به عنوان بهترین غشاء انتخاب شد. پارامترهای فشار، دما و pH بر روی این غشاء آزمایش شد و شرایط بهینه فشار برابر 10 بار و pH برابر 7/57 به دست آمد [9].

تحقیق دیگری توسط مسافری و همکاران با عنوان بررسی حذف آرسنیک از آب با استفاده از فرآیند جذب و با بررسی تاثیر غلظت اولیه آرسنیک، حالت اکسیداسیون آرسنیک و pH بر عمل جذب و میزان حذف انجام گردید. نتایج حاصل نشان داد در آزمایشات منقطع با دو برابر شدن دز جاذب راندمان حذف As(V) در زمانهای 10/5 و 2 ساعت به ترتیب از 44/8 به 72%، 69/6 به 90/8% و از 92/4 به 98% افزایش یافت. در مدت دو ساعت مقدار حذف As(V) و As(III) به ترتیب 96% و 16% بالغ شد که با استفاده از کلر به میزان 1/5 میلی گرم در لیتر به عنوان اکسید کننده، راندمان حذف As(III) به 94% بالغ گردید. بیشترین مقدار جذب As(V) در pH بین 6 تا 8 حاصل شد [10].

بابایی و همکاران تحقیقی را با عنوان مطالعه آزمایشگاهی حذف آرسنیک از آب آلوده توسط جلبک ماکروسکوپی کارا در سال 2007 انجام دادند. نتایج حاصل حاکی از قابلیت بالای جلبک برای حذف آرسنیک بوده بطوری که بالاترین درصد حذف به میزان 75% گزارش گردید [11].

عسگری و همکاران مطالعه دیگری را با عنوان کارایی حذف آرسنیک از آب توسط گرانول هیدروکسید آهن (GFH) انجام دادند. نتایج حاصل نشان داد pH بهینه حذف 7/5 و بهترین زمان برای حذف 30 دقیقه

<sup>1</sup> Lin

نتایج مطالعات مذکور نیز نزدیک به نتایج تحقیق حاضر بوده و موید کارایی استفاده از این روش جهت حذف آرسنیک از آب آشامیدنی می باشد.

آرسنیک از سمومی است که از دو راه وارد محیط زیست می شود: راه طبیعی که سالیان دراز این عمل ادامه داشته و راه مصنوعی، که پس از پیشرفت بشر حاصل گردیده است. به هر حال بشر در برخی موارد مقادیر بالاتر از حد مجاز را تجربه می کند. در حال حاضر با توجه به استانداردها و رهنمودهای WHO و EPA و پائین آمدن مقادیر استاندارد توصیه شده به میزان  $10\mu\text{g/L}$ ، سازمانهای تامین کننده آب آشامیدنی مجبور به پیروی از رهنمودها و استانداردهای تعیین شده خواهند بود؛ لذا با تکنولوژیهای موجود احتمالاً نائل شدن به استانداردهای جدید تا حد زیادی مشکل خواهد بود. یکی از روشهای نوین تصفیه آب که امروزه در اکثر نقاط دنیا رو به گسترش بوده و قادر است حدود استانداردهای جدید تعیین شده را تامین نماید، استفاده از فرایندهای غشائی می باشد. در این تحقیق یکی از این فرایندها (اسمز معکوس) مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است.

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد فرآیند اسمز معکوس در حذف آرسنیک از آب آشامیدنی موثر می باشد و برای آبهای مختلف از منابع سطحی و زیرزمینی با غلظت تا  $2\text{ mg/L}$  با راندمان بالای 95% قابلیت کاربرد خوبی خواهد داشت و به راحتی می توان با استفاده از این روش به میزان توصیه شده سازمان جهانی بهداشت و نیز سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (10 میکروگرم در لیتر) دست یافت.

### تشکر و قدردانی

می باشد. راندمان حذف نیز برای این روش بالا گزارش شده است [12].

مطالعه دیگری توسط واکر<sup>1</sup> و همکاران با عنوان "اثر بخشی سیستم های اسمز معکوس خانگی از آبهای زیرزمینی حاوی آرسنیک بالا در منطقه ای در غرب ایالات متحده" در سال 2007 انجام شد؛ نتایج نشان داد راندمان حذف برای گونه های مختلف آرسنیک بالای 95% بوده و فقط در مورد آرسنیت که 15% چاهها را شامل می شد، راندمان تصفیه بطور معنی داری کاهش یافته است. این نتایج نیز موید نتایج تحقیق حاضر می باشد [13].

ختایی و همکاران تحقیقی را با عنوان تصفیه الکتروشیمیایی آبهای آلوده به آرسنیک با استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی انجام دادند. نتایج حاصل نشان داد میزان حذف بستگی به جنس الکترود داشته و الکترود آهن بیشتر از آلومینیوم کارایی داشته و راندمان حذف تا 99% نیز گزارش شده است [14].

در مطالعه دیگری که توسط گئوک<sup>2</sup> و همکاران با عنوان عملکرد اسمز معکوس در مقیاس کوچک برای حذف آرسنیک در کارلسروهه آلمان در سال 2008 صورت گرفت، نتایج حاصل نیز ضمن همگرایی با این تحقیق، نشان داد این روش می تواند به عنوان روش مناسبی برای مناطق حاوی آب آلوده منظور و میزان آرسنیک را در آنها در حد MCL کاهش دهد [15].

ریچاردز<sup>3</sup> و همکاران در تحقیقی که با عنوان تأثیر گونه بندی بر حذف فلوراید، آرسنیک و منیزیم توسط نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس در جوامع دورافتاده استرالیا انجام دادند، نشان دادند حذف گونه های مختلف فلوراید و آرسنیک وابسته به pH نبوده در حالی که میزان حذف گونه های منیزیم وابسته به pH می باشد. این نتایج با یافته های این تحقیق نیز مشابهت و همخوانی دارد [16].

<sup>1</sup> Walker

<sup>2</sup> Geucke

<sup>3</sup> Richards

این تحقیق با مساعدت و همکاری معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران و نیز همکاری صمیمانه کارشناسان آزمایشگاه شیمی دانشکده بهداشت بویژه سرکار خانم مهندس موسوی و جناب آقای مهندس پورمسلمی انجام گردید. نویسندگان مقاله بدین وسیله مراتب تقدیر و سپاسگزاری خود را اعلام می نمایند.

## References

- 1- WHO. Environmental Health Criteria 224, Arsenic and Arsenic compounds. Geneva, 2001; 1-9.
- 2- WHO. Guidelines for drinking water quality. Geneva, 2004: 1-22
- 3- APHA, AWWA, WEF. Standard methods for examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> ed. 1999; 440-444.
- 4- Mosaferi M. Arsenic occurrence in drinking water of IR of Iran: The case of Kurdistan province. PhD thesis; School of Public Health: Tehran University of Medical Science; 2002; p: 23-24. (fulltext in persian)
- 5- Thomas SY, Choah TG, Robiah Y, Gregory KFL, Azni I. Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview. Desalination. 2007 Nov; 217 (1-3): 139-166.
- 6- Gholami M. Application of membrane technology for dye removal from textile wastewaters. PhD thesis; School of public health: Tehran University of Medical Science. 2002; p: 65-70. (fulltext in persian)
- 7- Takashi A. Wastewater reclamation and reuse. Technomic publishing Co. 1998; p: 550-560.
- 8- Lin TF, Hsiao HC, Wu JK, Hsiao HC. Removal of Arsenic from groundwater using POU RO and distilling devices. Environ Technol. 2002 Jul; 23(7): 781-790.
- 9- Mozaffarian K, Madaeni S, Khoshnoudi M. Evaluating the performance of reverse osmosis in Arsenic removal from water. Journal of Water and Wastewater, 2007 Mar; 17 (60): 21-28. (fulltext in persian)
- 10- Mosaferi M, Mesdaghinia AR. Removal of Arsenic from drinking water using modified activated alumina. Journal of water and wastewater. 2005 Sep; 16 (54): 2-14. (fulltext in persian)
- 11- Babaie Y, Ghasemzadeh F, Arbabzavvar MH, Alavi moghaddam MR. Experimental study of Arsenic removal from contaminated water by macroscopic algae kara. Journal of Environmental science and technology. 2007; 33 (11): 11-18. (fulltext in persian)
- 12- Asghari AR, Magvi AH, Vaezi F, Khalili F. Study of the efficiency of Arsenic removal from drinking water by granular ferric hydroxide (GFH). Journal of Qom University of Medical Science. 2008 Spring; 1: 53-63. (Fulltext in Persian)
- 13- Walker M, Seiler RL, Menmenert M. Effectiveness of household reverse-osmosis systems in a Western U.S. region with high arsenic in groundwater. Sci Total Environ, 2008 Jan; 389 (2-3): 245-52.
- 14- Khataie AR, Ghanjalie Khosroshahi M. Electrochemical treatment of water contaminated with Arsenic using electrical coagulation process. Journal of Chemical Engineering. 2009 Jan; 37(7): 75-88. (fulltext in persian)
- 15- Geucke T, Deowan SA, Hoinkis J, Pätzold CH. Performance of a small-scale RO desalinators for Arsenic removal. Desalination. 2009 Apr; 239 (1-3): 198-206.
- 16- Richards LA, Richards BS, Rossiterb HMA, Schäferb AI. Impact of speciation on fluoride, arsenic and magnesium retention by nanofiltration/reverse osmosis in remote Australian communities. Desalination. 2009; 251: 177-83.



## Influence of the concentration, pH, temperature and pressure parameters on Arsenic removal from drinking water via reverse osmosis process

Mokhtari SA<sup>1</sup>, MSc; Gholami M<sup>2</sup>, Ph.D; Shakerkhatibi M<sup>3</sup>, Ph.D; Mirhosseini SH<sup>4</sup>, MSc

1- Lecturer in Environmental Health, Dept. of Environmental Health, School of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran.

2- Corresponding Author: Associated prof. of Environmental Health, Dept. of Environmental Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. E-mail: mitra326@yahoo.com

3- Assistant prof of Environmental Health, Dept. of Environmental Health, School of Nutrition & Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

4- Lecturer in Environmental Health, Dept. of Environmental Health, School of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.

### ABSTRACT

**Background & Objectives:** Arsenic is the third element of 5<sup>th</sup> Group of the periodic table and it is the twentieth rarest element in the earth's crust. This material has application in agriculture, livestock, medicine, electronics and metallurgy. It enters the environment from natural phenomena and human activities, causing pollution in it. Arsenic is a substance that is poisonous, cumulative, and an inhibitor of SH group enzymes. Several studies have identified significant correlation between high levels of Arsenic in drinking water and cancer in liver, nasal cavity, lungs, skin, bladder and kidney in men and women, and prostate in men. The present study was aimed to determin the impact of parameters affecting reverse osmosis membrane performance in Arsenic removal from drinking water.

**Methods:** In this research, Arsenic removal was surveyed and tested through reverse osmosis membrane with spiral-wound module (model: 2521 TE, made in CSM Co. Korea). The used solution was prepared synthetically in the laboratory using sodium arsenate, and system performance was investigated under the influence of parameters such as arsenic concentration, pressure, pH and temperature of the input solution. In each case, the flux rate passing through the membrane and transverse velocity was measured. For each mode, after 30 minutes, desired samples were picked up, and then were tested with silver diethyldithiocarbamate method (Test No. 3500-As B, standard method).

**Results:** The results of experiments and measurements showed that the parameters of concentration, pH, temperature and pressure in input solution are effective in reverse osmosis membrane performance (model TE 2521), and the increase or decrease in each parameter leads to changes in the system's efficiency and performance. The optimal conditions and performance of membrane under the influence of these parameters were defined as follows: pressure 190-210 psi, concentration 0.2-0.5 mg/L, temperature 25-30 °C, and pH = 6-8. Arsenic removal efficiency at the optimum system performance was determined at about 99-95 percent.

**Conclusion:** According to the results and the high efficiency and acceptable performance, this approach is effective and can be applied as a method for Arsenic removal in areas with contaminated water.

**Key words:** Arsenic; Drinking Water; Reverse osmosis process